

福州晋安河驳岸稳定性分析及其治理

林 威^{1,2}, 简文彬^{1,2,3}, 张 登^{1,2}, 叶 琪^{1,2}

(1. 福州大学 环境与资源学院, 福建 福州 350108; 2. 福州大学 岩土工程与工程地质研究所, 福建 福州 350108;
3. 福建省地质灾害重点实验室, 福建 福州 350002)

摘要: 伴随内河驳岸治理的兴起出现了一系列驳岸稳定问题, 究其原因主要是对驳岸稳定性的影响因素和加固机理认识不清。以福州晋安河驳岸为研究对象, 分析了内河驳岸稳定性的主要影响因素, 计算了不同工况下驳岸的稳定安全系数和加固效果。研究表明, 清淤、水位骤降及降雨造成的驳岸土体下滑力大于抗滑力是引起驳岸失稳事故的主要原因。采用坡脚反压、木桩加固、坡顶花管注浆是驳岸治理中有效的加固措施。研究成果可为内河驳岸治理提供借鉴和参考。

关键词: 驳岸; 清淤; 水位骤降; 滑坡治理

文章编号: 1003-8035(2013)02-0044-06

中图分类号: P642. 2

文献标识码: A

0 引言

驳岸是沿河地面以下保护河岸(阻止河岸崩塌或冲刷)的构筑物。近年来, 随着城市建设的发展, 内河驳岸的稳定性正得到越来越多的关注。内河驳岸出现变形破坏甚至滑坡, 对城市建设与安全造成影响^[1-2]。内河是福州古城风貌的特色之一, 密布交织的内河资源为全国城市所罕见。然而受各种因素的影响与制约, 福州市内河驳岸破坏现象严重。内河大部分河道驳岸为20世纪80年代以前修建的, 驳岸整体结构欠完整, 断面较小, 驳岸墙体整体性较差, 基底大部落在未经处理的软土层, 无可靠基础^[3]。城市建设发展使沿岸地形地貌改变, 驳岸的工作条件发生变化, 部分地段驳岸的稳定性降低, 特别是河道清淤工作使驳岸工作条件进一步恶化, 留下较大的安全隐患。包括晋安河、五四河、化工河等福州部分内河驳岸常有发生驳岸坍塌、滑坡等失稳破坏问题, 危及岸坡上行人、车辆、道路、建筑的安全, 危害性较大。

晋安河现为福州市最长, 流域最大的城市内河。该段河流由北向南流, 沿途多为居民区及沿河公园。沿途有湖前河等7条河流直接汇入(图1)。该河北自东浦路接解放溪, 南经象园水闸至光明港, 长约6550m, 河面宽25~49m, 河水面积69.7km², 最大排洪能力108m³/m, 河底标高2m。经1951~1953年、1959年、1974~1975年数次整治加宽, 可通行25t浅水汽轮。沿途有象园桥、雁塔桥、象园水闸, 两岸砌有石驳岸, 驳岸工程始于光明港(桩号JA0+000), 止于

茶园水闸(桩号JA5+334)。



图1 福州内河水系图

Fig. 1 The inland river system of Fuzhou

因此, 本文以福州市晋安河内河驳岸为例, 研究软基驳岸岸坡破坏模式、分析其破坏成因, 并提出适宜的治理措施。研究成果可推广应用于类似的内河

收稿日期: 2012-12-02; 修订日期: 2013-01-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072232)

作者简介: 林 威(1988—), 女, 福建古田人, 硕士研究生, 岩土工程专业, 从事边坡工程方面研究。

E-mail: linwei_1227@163.com

驳岸整治工程中。

1 工程地质条件

根据现场钻探揭示及已有地质资料,结合土工试验结果,本段场地主要由以下土层组成:

地层自上而下依次为:

① 杂填土:灰,稍密,湿,以粘性土为主,含少量砖块、碎石等(含量 < 25%),部分钻孔含少量块石。该层为人工堆填或活动形成,堆填时间超过 5 年。厚度为 0.80 ~ 3.70m。

② 粘土:灰黄色,湿,可塑 ~ 硬塑状态为主。稍有光泽,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,有一定粘性,部分钻孔含少量粉砂(含量 < 15%)。

③ 淤泥:深灰色,饱和,流塑,含腐植质,有臭味,摇振反应慢,捻面光滑,有光泽,干强度及韧性中等,局部夹有薄层中砂。揭示厚度为 6.1 ~ 16.0m。

④ 粘土:灰黄色,湿,可塑 ~ 硬塑状态为主。稍有光泽,无摇振反应,干强度中等,韧性中等,有一定粘性。

⑤ 圆砾:浅灰,饱和,密实。母岩为火山岩类岩石,圆砾含量约 55%,一般粒径 10 ~ 20mm,并夹有少量卵石,孔隙主要由中砂充填。厚度为 1.90 ~ 3.00m。

驳岸典型工程地质断面图如图 2:

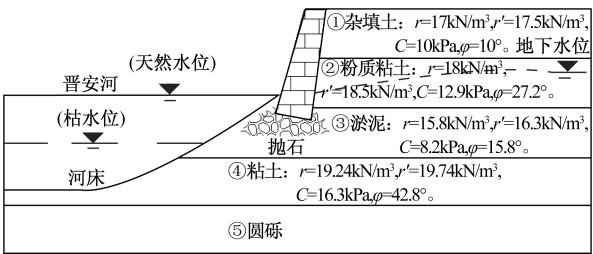


图 2 驳岸典型工程地质断面图

Fig. 2 Typical engineering geology profile of revetment

2 驳岸失稳破坏模式

根据现场工程地质调查,晋安河驳岸失稳破坏模式主要有驳岸砌体破坏、驳岸坍塌和岸坡滑坡三种。

2.1 驳岸砌体破坏

驳岸砌体破坏是主要的破坏模式之一,主要表现形式有驳岸开裂、外鼓及驳岸被掏空等(图 3)。主要出现在砌筑年代较早的干砌毛(块)石驳岸中,具有范围较小、分布较分散、易出现渗水等特点。



(a)驳岸砌体外鼓



(b)驳岸砌体下部掏空

图 3 驳岸砌体破坏

Fig. 3 Masonry of revetment broken

2.2 驳岸坍塌

驳岸坍塌是指驳岸受到的墙后土(水)压力大于驳岸本身抗力,致使驳岸本身发生破坏,属于倾倒破坏。晋安河驳岸坍塌主要由于暴雨时休闲绿地地面水渗入地下,使挡墙内侧产生水压力,导致下滑力大于抗滑力,挡墙失去稳定;而由于挡土墙结构为干砌毛石,驳岸本身质量较差、岸上有大量堆载、墙体中薄弱环节较多,且由于旁边未坍塌墙体的“阻滑”作用,使挡土墙在墙底以上一定部位坍塌^[4]。

2.3 岸坡滑坡

岸坡滑坡是指在自身重力、地下水及晋安河水位、水流等因素的共同作用下改变坡体内一定部位的软弱带(面)中的应力状态,当该带应力大于强度就使得驳岸和其后部分土体沿着这一软弱滑动面(带)产生整体剪切破坏,滑动面一般位于淤泥层中,滑坡体常成弧形窝状,此种类型破坏力、危险性及危害性最大。

岸坡滑坡主要有两种形式,即推动式滑移和牵引式滑移。推动式滑移是岸坡上部崩塌堆载或人工填堤,引起驳岸整体向下滑动;牵引式滑移是岸坡坡脚掏空或软化部分土体滑动破坏后,后面的土体因平衡条件被打破,逐级发生滑移而导致岸坡的破坏。推动式滑移破坏规模大,危害性强,多发于中、枯水退水期;牵引式滑移后岸坡具有明显的阶梯状地貌,滑移

具有连锁性,最具潜在威胁,危害性较大^[5-6]。

3 驳岸稳定性的主要影响因素分析

3.1 河道清淤形成新临空面的影响

由于晋安河长期排污,河床不断淤积最终不能满足内河的泄洪要求,因此对晋安河进行清淤整治,大量的清淤作业使河床高程降低。增大排泄能力的同时,也由于清淤作业的不规范、不专业,在靠近驳岸的河床段的清淤超挖,导致河床形成陡坎,减少了驳岸坡脚的荷载,减小了阻滑力,使本就处于临近极限平衡状态的驳岸发生牵引式的剪切滑移。

清淤前后的示意图如图 4:

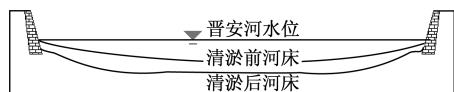


图 4 清淤前后示意图

Fig. 4 Before-and-after-dredging schematic diagram

在地质调查中已发现的几处破坏段,其河床均是进行过较大规模的清淤,形成了临空面。

对已经破坏的 J17B 河段进行不同清淤深度对稳定性系数的影响分析。分析工况为河水位发生骤降的枯水时期,水位标高 3.3m(图 5)。

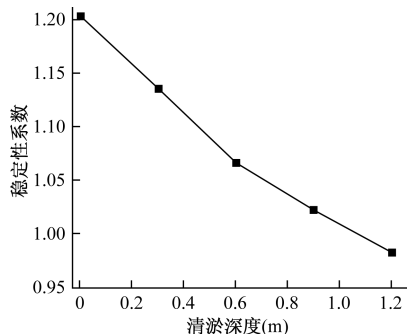


图 5 J17B(段)清淤深度与稳定性的关系

Fig. 5 The relation between the depth of dredging and stability in J17B

由图可知,清淤深度对稳定性的变化有至关重要的影响,清淤前的驳岸在最不利的工况下处于稳定状态,随着清淤的加深,稳定性系数逐渐降低,清淤至现状时候驳岸已经处于极限平衡状态,在河水位骤降的工况下会突然发生滑坡。

为进一步分析河道清淤超挖产生的潜在滑动面,采用极限平衡法对滑动面塑性开展区域做出分析(图 6)。实测河道清淤超挖深度约 1.0m,河水位高

3.3m,岸坡地下水位高 5.1m。根据上述条件计算出稳定性系数为 $0.987 < 1.2$,无法满足稳定性要求。滑动面顶端为拉应力区域,至清淤超挖所形成陡坎处为滑动面剪应力区域,滑动面处拉应力、剪应力均大于该范围内土体抗剪强度,即驳岸坡脚被动区土体在河道清淤过程中不能自稳,清淤对坡脚土体产生扰动明显。故驳岸挡墙产生整体滑移失稳。

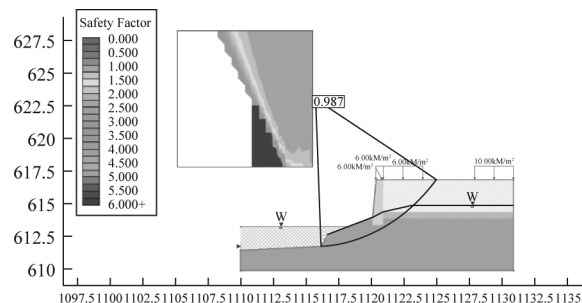


图 6 J17B(段)现状驳岸稳定性结果图

Fig. 6 The stability results for the map of the currun revetment in J17B

上述分析与 J17B 驳岸破坏实际情况吻合,因此清淤是驳岸整体性滑坡的主要诱发因素之一。

3.2 晋安河水位涨落频繁且大

晋安河河水中的生活垃圾和泥沙在流速相对缓慢的晋安河中会沉淀,导致河床淤积较为严重,影响晋安河的排污和泄洪功能,需要定期的蓄水冲淤。晋安河的冲淤水源主要来自于闽江,因为泵送需要耗费巨大的电能,晚上属于用电高峰期,为了合理安排用电时间,通常在夜间停止冲淤。因此晋安河水位经常会在夜里发生骤降,调查期间,J17B 段驳岸发生约 50m 长整体性滑移就是由于河水位的骤降。

晋安河两岸地下水位较高,埋深在 1.4 ~ 2.6m 之间,一般高于晋安河的正常丰水位。晋安河水位发生骤降,使得地下水水位高于河水位,将会产生较大的渗流力,从坡内向外和沿坡的渗流都会降低抗滑力、增大下滑力,同时水位的降低也减小了坡外的静水压力,降低了抗滑力,从而降低驳岸的稳定性系数。下表所列出的是部分里程段在正常水位和枯水位情况下的稳定性系数的对比(表 1)。

由表 1 分析可以得知,在晋安河河水位骤降的工况下,坡脚的静水压力减小,水力梯度变大,渗流力增大,驳岸的整体稳定性会有大幅度的下降,局部地区会突然发生整体性的破坏,这也是驳岸滑坡常发生在河水位骤降的夜晚的原因。

表 1 正常水位和枯水位的稳定性对比

Table 1 Comparison between normal water level and draughty water level

里程段	正常水位稳定性系数	枯水位稳定性系数	评价
JA1 + 780 - JA1 + 860	1. 280	1. 030	此段驳岸稍高,突然降水可能会出现破坏
JA3 + 720 - JA3 + 780	1. 240	1. 050	此段坡脚有沙袋反压,河水骤降较危险
JA4 + 329 - JA4 + 331	1. 238	0. 972	河水位突然骤降,引起此段驳岸滑塌
JA6 + 000 - JA6 + 160	1. 206	0. 998	河水位骤降,处于极限状态,极危险

3.3 降雨及其入渗影响

晋安河两岸的步行道、平台的外缘有栏杆、石材压顶。福州年降水量在 1600 ~ 2200mm,降水量较大,且暴雨较多,在暴雨期间,由于短时间内的急速降雨,地表积水不能及时排走,而砖铺式人行道和花圃、草皮有利于地表积水的渗透,墙后填土疏松且富含腐殖质,地下水位可能在短时间内急剧上升,增大其饱和度,降低土体的力学性质,增加水力梯度和渗流力,降低驳岸的整体稳定性,诱发驳岸在突发降雨的工况下发生失稳破坏。2012 年 4 月 24 日温泉公园路附近 JA5 + 500 ~ JA5 + 545 段在降雨期间发生滑坡破坏,滑动面处可以见到有地下水渗出的现象。

3.4 其他因素

此外,驳岸挡土墙软土地基强度不足、驳岸上部景观荷载以及早期驳岸砌筑未有规范要求也对驳岸的整体稳定性产生了重要影响。

4 驳岸岸坡治理加固措施

4.1 治理加固措施分析

驳岸滑坡的治理方案除考虑工程地质情况、周边环境外,还受施工工期、河水位、冲淤要求等的限制。大面积拆除驳岸重新砌筑,工程量浩大,不可行;在驳岸顶削方减载,必破坏原有景观建设,也不可行。在驳岸坡脚前抛石或堆沙袋进行坡脚反压,未破坏原有结构,是可行的。此外,抗滑桩是一种整治驳岸滑动,提高驳岸稳定性的有效措施。而驳岸墙后土体的加固可通过将花管打入基础附近并注浆,既可增加抗滑力,满足岸坡整体稳定,又可减少驳岸墙后的土压力,避免驳岸水平滑移,是较为理想的方案。

(1) 坡脚反压

在驳岸前缘进行沙袋、抛石等重物反压,可利用堆载物自身重力增加坡体抗滑部分,有效限制驳岸土体的滑移,提高驳岸的稳定性。

在一般情况下,堆载阻滑只能增大阻滑力,不能改变其下滑的趋势,因此它们常与其他整治措施配合使用。

(2) 木桩加固

抗滑桩加固边坡是一种常用的抗滑处理措施,将桩埋设于稳定地层中,通过桩身将上部承受的坡体推力传给桩下部的侧向土体或岩体,依靠桩下部的侧向阻力来承担边坡的下推力,而使边坡保持平衡或稳定。抗滑桩一般应设置在滑坡前缘抗滑段滑体较薄处,以便充分利用抗滑段的抗滑力,减小作用在桩上的滑坡推力,减小桩的截面和埋深,降低工程造价,并应垂直滑坡的主滑方向成排布设。木桩主要承担水平荷载^[7-8]。

木桩的材料是松木,密集布置,长度应穿过潜在滑动面一定深度并满足抗滑整体稳定要求,位置宜设在坡脚,距驳岸过远则不起作用。当木桩设置在滑体以外时,显然对边坡起不到有效加固(图 7)。

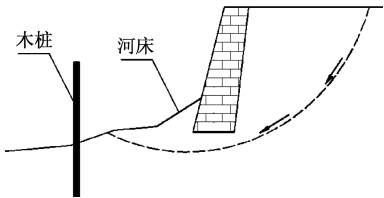


图 7 木桩布设不合理

Fig. 7 Misarrangement of wood piles

(3) 坡顶花管注浆

花管注浆是用带孔的钢质花管打入或钻孔插入土中,用压力将浆液注入花管中,浆液从孔中灌入土层,随后边提升或沉下花管并连续注浆,在土中形成加固土,提高地基强度^[9-10]。

晋安河此次注浆花管按梅花型布置三排(图 8),最近距离驳岸外缘 1.1m。注浆影响半径 0.5m,深度由计算确定,要求符合抗滑移与抗倾覆验算。注浆过程由于水泥浆对管侧土的压力作用,导致土压力增大,可能引起驳岸坍塌。注浆结束开始发挥作用后,就不存在此类问题了。

注浆影响范围内的地层为加固区,受影响的土层范围为等效范围。计算驳岸稳定性系数中将加固区土视为等效体,内聚力 c 取 120kPa,内摩擦角 φ 取 25°。

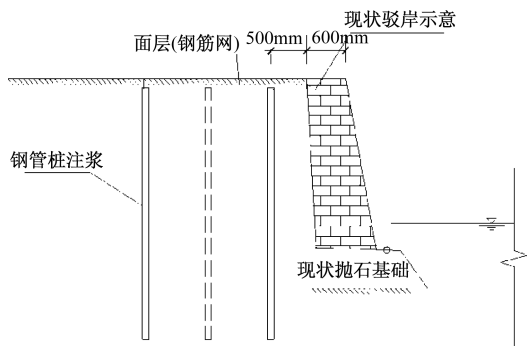


图8 花管注浆剖面图

Fig. 8 Profile map of flower grouting pipe

J7B 为破坏点,使用极限平衡法对注浆治理效果进行理论分析。当加固体等效范围为 1.5m 和 2.0m,注浆深度分别取 8.0m、9.0m、10.0m、11.0m 时,得出驳岸的稳定性系数,绘制成图(图 9):

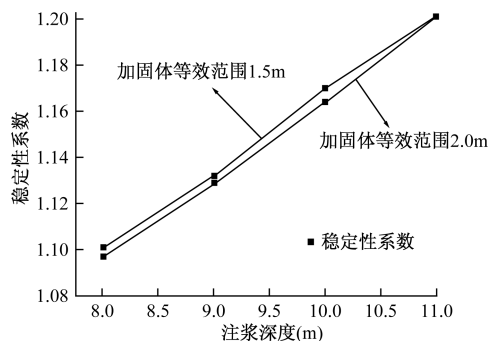


图9 稳定性系数与注浆深度的关系

Fig. 9 The relation between the stability coefficient and the intrusion depth

由图 9 可知,加固体等效范围一定时,驳岸稳定性系数随着注浆深度的增大而增大。同一注浆深度上,加固体等效范围 1.5m 时的稳定性系数大于等效范围 2.0m 的稳定性系数。不论等效范围为 1.5m 还是 2.0m,当注浆深度为 11.0m 时,稳定性系数均超过 1.20。J17B 点是驳岸滑动破坏段,取加固等效范围 1.5m 和 2.0m,加固深度 11.0m 时进行稳定性验算,得出稳定性系数分别为 1.232 和 1.231。

4.2 排水

排水不良会使墙后地下水位提高,一方面增加静水压力;另一方面使土的抗剪强度降低,增大土压力;两者共同作用而造成挡土墙倾覆。一般要在墙顶设截水沟,防止雨水下渗;在墙体设泄水孔。由于驳岸不便拆除施工,但考虑到驳岸挡土墙由于砌条/毛石组成,可利用条/毛石间的缝隙进行排水。

5 结论

(1)软土地基、填土疏松、驳岸砌筑不规范、排水措施不适当等是导致驳岸整体性滑坡的重要因素。

(2)大规模河道清淤超挖对驳岸挡墙被动区土体产生扰动,导致土体整体稳定性降低,最终发生驳岸坍塌。河道清淤超挖是造成驳岸发生坍塌事故的主要原因。

(3)在驳岸坡脚打入双排木桩并堆填抛石,依靠桩下部的侧向阻力来承担驳岸传递的下滑力,而采用抛石材料堆填滑坡体前缘抛石增大了坡脚反压力,木桩和抛石共同的作用有效的阻止了驳岸的整体性滑移,提高了驳岸整体稳定性。

(4)驳岸坡顶注浆一方面增强了岸坡坡体的抗剪强度、起到加筋作用;另一方面提高了可能的潜在滑动面的抗剪强度,使得潜在滑动面往更深土层发展,从而提高驳岸整体稳定性。

参考文献:

- [1] 叶江,潘金炎,潘云山.某小区河道驳岸坍塌事故原因分析及加固[J].浙江建筑,2012,29(6):31-33.
YE Jiang, PAN Jinyan, PAN Yunshan. Cause analysis and reinforce measurement for river revetment collapsing accident in a residence community [J]. Zhejiang Construction, 2012, 29(6): 31-33.
- [2] 苏宁.驳岸墙滑移原因分析及对策[J].交通科技,2008(2):108-109.
SU Ning. Cause analysis and countermeasures for bulkhead wall slip [J]. Transportation Science & Technology, 2008(2): 108-109.
- [3] 唐丽虹.城市内河综合整治对策与措施[J].中国市政工程,2006(4):55-56.
TANG Lihong. Countermeasures for comprehensive control of inland rivers in cities [J]. China Municipal Engineering, 2006(4): 55-56.
- [4] 潘吉祥.重力式挡土墙的坍塌原因分析及加固措施[J].岩土工程界,2006,9(8):69-70.
PAN Jixiang. Cause analysis and reinforce measurement for gravity retaining wall collapsing accident [J]. Slope Engineering, 2006, 9(8): 69-70.
- [5] 赵明阶,何光春.边坡工程处治技术[M].北京:人民交通出版社,2003.
ZHAO Mingjie, HE Guangchun. The treatment technology of Slope engineering [M]. Beijing: China

- Communications Press, 2003.
- [6] 郑颖人, 陈祖煜, 王恭先, 等. 边坡与滑坡工程治理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- ZHENG Yingren, CHEN Zuyu, WANG Gongxian, et al. Engineering treatment of slope & landslide [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [7] 李长冬, 唐辉明, 胡新丽, 等. 三峡库区滑坡治理工程中抗滑桩综合优化研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(2): 91-95.
- LI Changdong, TANG Huiming, HU Xinli, et al. Comprehensive optimum study on anti-slide piles of landslide control project in three gorges reservoir area [J]. Journal of Wu Han University of Technology, 2012, 34(2): 91-95.
- [8] 张璐, 任旭华, 张继勋, 等. 考虑抗滑桩埋深的边坡抗滑机理研究 [J]. 水电能源科学, 2012, 30(4): 72-75.
- ZHANG Lu, REN Xuhua, ZHANG Jixun, et al. The study on anti-slide mechanism in consideration of the burial depth of the anti-slide pile [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(4): 72-75.
- [9] 王继坤, 张方方. 花管注浆在基坑边坡加固工程中的应用 [J]. 资源环境与工程, 2011, 25(1): 65-70.
- WANG Jikun, ZHANG Fangfang. Application of well screen grouting in foundation slope engineering [J]. Resources Environment & Engineering, 2011, 25(1): 65-70.
- [10] 简春清. 花管注浆在抢险工程中的应用 [J]. 交通世界, 2011(11): 109-110.
- JIAN Chunqing. The application of flower grouting pipe in the emergency rescue engineering [J]. Traffic World, 2011(11): 109-110.

Stability analysis and prevention of Jin'an River revetment in Fuzhou of Fujian Province

LIN Wei^{1,2}, JIAN Wen-bin^{1,2,3}, ZHANG Deng^{1,2}, YE Qi^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China;

2. Institute of Geotechnical and Engineering Geology, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China;

3. Fujian Provincial Key Laboratory of Geological Hazards, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Due to the lack of understanding the influencing factors and the reinforcement mechanism for the revetment stability, a series of revetment stability problems occur with the rising of inland river revetment managements. By focusing on the case of the revetment of Fuzhou Jin'an River, the influencing factors and the reinforcement effects of revetment stability are analysed via calculating the stability of the different operating conditions. And the study shows that the accident of revetment instability is mainly the result of the downslope force which caused by dredging, rapid drawdown and rainfall, increasing over the anti-sliding strength. Concerning on the avoidance of the accident, it is effective to reinforce the revetment by exerting pressure on the toe of slope, applying wood pile, and using flower grouting pipe on the slope top. The research results can provide references for inland river revetment managements.

Key words: revetment; dredging; rapid drawdown and rainfall; landslide control